TRAITÉ DES HORLOGES MARINES,

Contenant la Théorie, la Conftruction, la Main-d'œuvre de ces Machines, & la Maniere de les éprouver, pour parvenir par leur moyen à la rectification des Cartes marines, & à la détermination des Longitudes en mer ; avec Figures en Taille-douce.

Dédié à SA MAJESTÉ, & publié par fes ordres, par M. FERDINAND BERTHOUD, Horloger Méchanicien du Roi & de la Marine, ayant l'infpection de la conftruction des Horloges marines, Membres de la Société Royale de Londres.

A Paris, chez J. B. G. MUSIER *Fils, Libraire, quai des Auguftins, à S. Etienne.* (*)

CE Traité eft divifé en quatre Parties : la premiere contient la Théorie fervant à la conftruction des Horloges marines : la feconde, de la conftruction des Horloges marines, leur Defcription, Expériences, Epreuves, &c. la troifieme, de la main-d'œuvre de ces machines, les outils, inftrumens fervant à les exécuter : la quatrieme Partie traite des épreuves, & opérations par le moyen defquelles on peut donner aux Horloges marines toute la perfection dont elles peuvent être fufceptibles.

La premiere Partie eft divifée en huit Chapitres : Chap. I, du degré de jufteffe que doit avoir une Horloge marine, des obftacles à vaincre pour faire fervir les Horloges à la navigation. II. Notions préliminaires fur la conftruction des Horloges marines pour fervir à la théorie de ces machines. III. Des frottemens & des effets que caufent les huiles employées dans les machines qui mefurent le tems. IV. Du régulateur des Horloges marines (*) ce Chapitre eft divifé en 3 articles. 1. *Du Balancier & des Rouleaux* : Principes fur les forces de mouvement des Balanciers : Principes pour fervir à trouver les dimenfions les plus favorables à donner au Balancier pour qu'il ait le moindre frottement : quelle doit être la nature des Balanciers felon les diverfes agitations qu'ils doivent éprouver : de la maniere de déterminer la pefanteur & le diamètre du Balancier. Art. 2. *De l'Ifochronifme des vibrations du Balancier par le fpiral* : Examen des effets qui réfultent de l'inégalité dans les arcs de vibration, foit qu'elle foit produite par les changemens de la force motrice ou par les agitations du vaiffeau : comment on peut obtenir par le fpiral l'ifochronifme des vibrations du Balancier : fur les lames d'acier fervant à faire des refforts fpiraux : des qualités effentielles qu'il faut réunir dans un reffort fpiral, pour que par fon application au Balancier il produife la plus grande quantité de mouvement & conferve fes propriétés : Principes pour fervir à donner au reffort la figure fpirale & à la lui faire conferver : du rapport qu'il y a entre la pefanteur du Balancier & la force du fpiral : Expériences faites fur la progreffion de la force des refforts fpiraux : fur la trempe des refforts fpiraux. Art. 3. *Méchanifme de compenfation* : de l'action du chaud & du froid fur le Régulateur d'une Horloge marine : des moyens de compenfer les effets du chaud & du froid : des changemens qui arrivent dans la compenfation par les réfiftances qui réfultent des huiles & des frottemens : de la compenfation du chaud & du froid par les huiles & les frottemens des pivots de Balancier. Chap. V. De l'Echappement. VI. Du Rouage des Horloges marines. VII. Du Moteur d'une Horloge marine : Comparaifon du poids moteur avec le reffort : préférence du poids, du rapport qu'il doit y avoir entre le Moteur & le Régulateur. VIII. De la fufpenfion des Horloges marines.

La deuxieme Partie eft divifée en quinze Chapitres. Chap. I. Des principes que l'Auteur a fuivi dans la compofition de l'Horloge marine N°. 1. Chap. II Defcription de l'Horloge N°. I. Détail de main-d'œuvre, Expériences, &c. Chap III. Conftruction d'une Horloge marine plus fimple que la premiere : du poids employé pour Moteur : Defcription, &c. IV. De l'Horloge marine N°. 2. Le Régulateur a deux Balanciers, Defcription, Expériences, Défauts, &c. V. De la Montre marine N°. 3. Sa Defcription, diverfes Expériences, Epreuves, Corrections, &c. VI. De l'Horloge N°. 4. VII. De l'Horloge marine à pendule, ou N°. 1. Moyens de rendre ifochrones les vibrations du pendule. VIII. De l'Horloge marine N°. 6. Sa Defcription, diverfes Expériences, Réfultats des épreuves faites en mer : corrections, moyens de perfectionner cette machine, &c. IX. De l'Horloge marine N°. 7 : fa Defcription, fes Dimenfions, &c. Chap. X. De l'Horloge marine N°. 8. Principes de fa conftruction. Sa Defcription, diverfes expériences, réfultats des épreuves qui ont été faites en mer en deux grands voyages : Correction, &c. XI. De l'Horloge marine N°. 9. XII. De l'Echappement à vibration libre : fon application à la Montre marine N°. 3, & aux Horloges N°. 4, N°. 9, &c. XIII. Conftruction de l'Horloge marine, N°. 10. Sa defcription, &c. XIV. De la conftruction d'une Horloge marine N°. 11. pour être la plus fimple. Sa defcription, expériences, &c. XV. De la Montre marine pour porter l'heure au vaiffeau.

La troifieme Partie contient deux Chapitres. Le premier renferme la defcription & l'ufage des inftrumens & outils néceffaires pour rendre l'exécution des Horloges marines plus parfaite. La deuxieme traite de la main-d'œuvre des Horloges marines.

La quatrieme Partie eft divifée en quatre Chapitres. Chap. I. De la maniere dont on doit vérifier la marche d'une Horloge aftronomique néceffaire pour y comparer celle de l'Horloge marine : defcription de l'inftrument des paffages du compteur & de l'inftrument des hauteurs correfpondantes : des vérifications qu'il eft néceffaire de faire à l'inftrument des paffages, le placer : des hauteurs correfpondantes, &c Obferver le midi à l'inftrument des paffages, régler l'Horloge, &c. Régler une Horloge par les étoiles fixes. Chap. II. Des diverfes épreuves qu'il faut faire fubir aux Horloges marines pour leur donner la plus grande jufteffe, &c. 1°. Eprouver le fpiral pour l'ifochronifme : régler l'Horloge par les maffes du Balancier : ajufter & fixer le poids moteur : de la durée du mouvement libre du Régulateur : éprouver l'Horloge du chaud au froid : de l'étuve : régler la compenfation : obferver fi l'étendue des arcs de vibration ne varie pas : dreffer la table d'équation pour la température : calculer la force de mouvement du Régulateur pour en conclure fes avantages

(*) *On trouve chez le même Libraire un nouvel Ouvrage de M. Ferdinand Berthoud, lequel a pour titre* : Eclairciffemens fur l'Invention, la Théorie, la Conftruction & les Epreuves des nouvelles Machines propofées en France pour la détermination des Longitudes en mer par la mefure du temps, fervant de fuite à *l'Effai fur l'Horlogerie* & au *Traité des Horloges marines*.

ou défaut, &c. Chap. III. Addition à l'Horloge, N°. 11. Chap. IV. Addition à l'Horloge N°. 8. Extrait de sa marche pendant le voyage qu'elle a fait sur la Flore : longitude conclue, &c.

Ce Traité est terminé par un Appendice qui contient plusieurs pièces justificatives relativement au travail des Horloges marines de M. Berthoud, & qui constatent l'ancienneté des recherches de l'Auteur sur cette matiere. 1°. Le dépôt fait à l'Académie Royale des Sciences le 10 Novembre 1754, d'un Mémoire qui contenoit déja la construction d'une Horloge marine dont M. B. s'étoit dès-lors occupé. 2°. Le Rapport de l'Académie sur l'Horloge marine, N°. 1, & des Mémoires déposés en 1760 & 1761 sur la construction de cette machine ; Mémoires sur la construction d'une Horloge marine, d'une Montre marine, d'une Montre astronomique & d'une Horloge marine à pendules déposées avec neuf dessins à l'Académie le 29 Août 1764. Mémoire lû à la rentrée publique de l'Académie du 14 Novembre 1764, sur les observations faites par ordre du Roi pour l'examen de la Montre marine de M. Berthoud, éprouvée à Brest par M. l'Abbé Chappe. Extrait d'un Mémoire déposé à l'Académie le 10 Février 1768, contenant la description abrégée des Horloges marines N°. 6 & N°. 8, & le précis de la théorie de M. B. sur l'isochronisme de vibration du Balancier par le spiral. Rapport de l'Académie sur l'épreuve des Horloges marines, N°. 6 & N°. 8, &c.

EXTRAIT du *Journal des Savans du mois d'Octobre 1773, concernant le Traité des Horloges marines.*

On n'a jamais rien fait en Horlogerie de plus important & de plus précieux que les Horloges marines qui donnent le tems à la mer à deux minutes près en deux mois de navigation, ou mieux encore, & par conséquent la longitude à un demi-degré près : mais parmi les Horlogers célebres qui se sont exercés dans ce genre, aucun n'avoit détaillé l'invention & les procédés des Horloges marines comme l'a fait M. Berthoud dans le grand & bel ouvrage que nous annonçons. Son *Essai sur l'Horlogerie* en deux volumes in-4°, publié en 1763, (qui se trouve chez le même Libraire, & dans lequel il avoit donné les premiers principes & les tentatives qu'il avoit déja faite sur les Horloges marines) avoit déja montré combien il étoit capable de tendre avec précision les travaux les plus délicats & les plus curieux de son Art, & combien il savoit y porter l'esprit d'invention, d'expérience, d'observation & de recherches ; mais ce Traité doit mettre le sceau à sa réputation d'Auteur, comme le succès de ses Horloges marines éprouvées déja dans trois grands voyages, lui ont mérités celle d'un des plus grands Artistes qu'il y ait eu.

Dans son introduction au Traité des Horloges marines, M. Berthoud explique la maniere dont les Horloges marines servent à donner la longitude en mer, & les tentatives qui ont été faites jusqu'ici pour y parvenir, par Huyghens, Massy, Sully, Bernoully, Harrison &c ; & les premiers essais qu'il a fait lui-même à compter de 1754, qu'il déposa son premier projet à l'Académie des Sciences.

L'exactitude à laquelle on doit aspirer quant à présent dans la construction des Horloges marines, consiste à ne pas s'écarter de trois secondes par jour dans l'espace de six semaines, du mouvement qu'on aura observé en partant. Les inconvéniens auxquels il s'agit de remédier sont l'agitation du vaisseau qui change les vibrations du Régulateur, les variations de la température, qui affectent considérablement la durée des vibrations du Régulateur, les frottemens en général, & particuliérement des pivots du Balancier, les résistances variables des huiles que l'on employe pour adoucir les frottemens, les changemens dans les engrénages des roues & pignons, les changemens de force du Ressort moteur.

Le Balancier, qui est la partie essentielle d'une Horloge marine, n'est point porté sur des pivots, ni même sur des rouleaux. M. B. qui avoit d'abord pensé à employer ce moyen, en rendant le Balancier vertical, s'en est tenu au seul projet ; car il reconnut aussi-tôt qu'il valoit mieux que le plan du Balancier fût parallele à l'horizon, & suspendu à un Ressort. Pour éviter même le frottement qui a lieu quand la Montre s'incline, il fait passer chaque pivot du Balancier entre trois rouleaux.

La force du Ressort spiral diminue par la chaleur, & le diametre du Balancier augmente, deux causes qui font retarder l'Horloge : pour corriger cet écart considérable, M. Berthoud employe un méchanisme de compensation dont l'effet est tel, que quand la chaleur affoiblit le spiral, ce méchanisme accourcit le spiral & augmente sa force de la quantité qu'il avoit perdue. Ce méchanisme est composé d'un chassis formé en partie par des barres d'acier & en partie par des barres de cuivre : la verge de cuivre qui est au milieu de ce chassis agit sur le talon d'un grand levier, & celui-ci fait mouvoir un rateau qui porte deux chevilles, entre lesquelles passe le spiral. Ce chassis, dont les barres extérieures sont d'acier, est fixé par un bout à la platine du côté du spiral ; l'autre bout a la liberté de s'étendre : mais les barres de cuivre qu'il porte se dilatent plus que celles d'acier ; d'où il résulte un mouvement assez sensible pour le levier, & ce mouvement est encore multiplié sur le rateau. Cette invention peut s'appliquer aux Montres ordinaires, & ne peut manquer d'en diminuer beaucoup les inégalités, qui vont souvent à une minute par jour dans les meilleures Montres : mais pour mériter de pareilles attentions, il faudroit qu'elles fussent travaillées d'ailleurs avec une exactitude bien singuliere.

Le Moteur des premieres Horloges marines de M. B. étoit un ressort égalisé par une fusée : mais il emploie actuellement des poids contenus dans des coulisses, il y a trouvé plus de sûreté & d'exactitude, parce que les Ressorts sont sujets à casser, ils perdent de leurs forces ; ils varient par la chaleur, ils exigent de l'huile, enfin ils ne sont jamais parfaitement égalisés avec leurs fusées.

Les Roues de mouvement sont toutes horizontales comme le Balancier, & afin qu'elles conservent toujours à peu près cette situation, malgré le roulis & le tangage du vaisseau, le mouvement de l'Horloge est attaché à une suspension composée de deux cercles mobiles, dont les pivots se croisent comme dans les suspensions des Boussoles.

L'Echappement étant une des parties importantes d'une Horloge, M. B. s'en est beaucoup occupé : il a d'abord voulu employer un Echappement à détente ; le Balancier fait deux vibrations pendant qu'il n'échappe qu'une dent de la Roue, c'est-à-dire que son Balancier va & revient sur lui-même : à son retour la Roue échappe & restitue en une vibration le mouvement que le Régulateur avoit perdu en deux. La Roue d'Echappement est à rochet ; son action demeure suspendue (pendant que le Balancier oscille librement) par un ancre ou cliquet. Cet Echappement est très-séduisant ; mais l'Auteur craignant un peu pour la sûreté de son effet, a travaillé à perfectionner l'Echappement ordinaire à Repos. Le plus grand inconvénient étant celui des frottemens du Repos, il a formé les paletes ou portions cylindriques avec des rubis d'orient, & a fait la Roue d'un acier très-dur. Il a réussi à rendre les frottemens très-petits & très-constans. Mais il reste encore à cet Echappement le défaut d'exiger de l'huile : or l'huile venant à s'épaissir, diminue l'étendue des arcs de vibration ; c'est pourquoi M. B. s'est occupé à construire un autre Echappement à vibration libre, par le moyen duquel il espere remplir l'objet désiré. Mais il se propose encore d'employer avec plus de sûreté l'Echappement à rubis, de maniere que l'huile n'y soit pas nécessaire.

Le Chapitre qui traite du Ressort spiral contient un grand nombre d'expériences curieuses, auxquelles l'Auteur applique des calculs & des raisonnemens pleins de savoir & de justesse. Si l'on a un Balancier simple sans spiral, auquel on veuille alternativement faire décrire de grands & de petits arcs dans le même temps, il faudra que la force ou puissance qui doit lui donner le mouvement, change comme le quarré des arcs ; pour donner cette qualité au Spiral, il ne s'agit que de le rendre plus long ou plus court, afin que la progression de sa force augmente dans le rapport nécessaire ; car un Spiral rend les grands arcs plus lents que les petits, lorsqu'il est fort long, & plus prompt lorsqu'il est plus court ; ainsi il y a entre ces deux termes un point par lequel on peut arrêter le Spiral, afin que les oscillations, grandes ou petites, soyent isochrones. Ce point est celui où le Spiral étant mis en équilibre par des poids, aura dans sa force la progression

exactement arithmétique, afin que les sommes de ses forces soient comme le quarré des arcs. M. B. a construit un instrument qu'il appelle *Balance élastique*, à l'aide de laquelle il connoît & mesure exactement la progression du Spiral : on en trouve la description dans son *Essai sur l'Horlogerie*. C'est en construisant sans cesse des machines ingénieuses & exactes pour toutes ses opérations, qu'il est parvenu à perfectionner toutes les parties de ses Horloges, de maniere que le succès ne dépende point de l'adresse des ouvriers ni de la perfection de la main-d'œuvre, mais qu'il soit la conséquence naturelle des principes & d'une pratique éclairée.

Après avoir établi par des principes certains la théorie qui sert de base à ces machines, un grand nombre de considérations sur chacune des parties de ces Horloges, on trouve leur description détaillée avec de grandes figures qui en donnent l'intelligence complette ; ensuite les expériences faites sur chacune de ces Horloges, & même sur chacune de leurs parties ; sur l'Echappement, en variant les poids ; sur la verge de compensation, en augmentant la chaleur, &c. Les descriptions même des Horloges que l'Auteur a abandonnées, contiennent des choses curieuses, & qui méritent toutes d'être connues. Les tentatives d'un Artiste célebre, qui pendant vingt ans a tout essayé & tout combiné, forment un assemblage de faits extrêmement précieux dans les Arts : on y apprendra sur-tout quels sont les obstacles que l'on rencontreroit si l'on s'écartoit des limites que l'Auteur a posées d'après ses propres expériences.

Les deux premieres descriptions ont pour objet des Horloges marines d'un certain volume dont le Balancier est grand & fait des vibrations lentes : mais pour que ces machines pussent supporter aussi le transport dans des voitures, l'Auteur a travaillé plus en petit, & il a fait ensorte que la vîtesse du Balancier & le nombre des vibrations pussent suppléer à la masse du grand Balancier, qui faisoit des vibrations plus lentes. La premiere machine de cette espece est désignée par le N° 3, c'est une Montre marine que M. B. éprouva à Brest en 1764 par ordre du Roi, & que feu M. l'Abbé Chappe avoit dans son voyage en Californie : elle a été rendue à l'Auteur le 10 Décembre 1770, par le frere de M. l'Abbé Chappe, & le 2 Mars 1771 elle fut demandée par le Ministre de la Marine, pour servir à M. le Marquis de Chabert, de l'Académie des Sciences, & Capitaine de Vaisseau, dans une campagne qu'il alloit faire dans la Méditerranée.

Le N°. 4. est une Horloge commencée en 1764 pour remédier aux défauts que l'expérience avoit fait reconnoître aux premieres.

Le N°. 5 est une Horloge marine à pendule. L'intention de l'Auteur a été de reprendre ce qui avoit été fait en 1673 par le célebre Huygbens, pour voir s'il étoit possible d'y trouver autant de précision qu'il y auroit de simplicité : deux de ces machines d'Huygbens avoient été éprouvées en mer, avec assez de succès pour donner quelques espérances sur la perfection de cette méthode. Cependant personne ne s'en étoit occupé depuis, M. B. a cru devoir l'entreprendre : il donne à la suspension du Pendule un mouvement, par lequel il prend son à-plomb sans pouvoir vibrer : ce Pendule fait 3 vibrations par seconde ; il décrit de grands arcs de cycloïde : un Ressort spiral adapté à l'axe de mouvement rend les oscillations encore plus isochrones : le centre de suspension du pendule coïncide avec celui du tambour qui contient le mouvement ; & dans le milieu des platines : enfin un grand nombre d'attentions savantes, & que M. B. étoit plus en état que personne d'imaginer, lui font espérer que quand cette piece sera finie, elle pourra servir non-seulement en mer, mais encore pour déterminer les différentes longueurs du pendule à différentes latitudes terrestres.

Le N°. 6 est une Horloge marine qui fut demandée par le Ministre en 1766 pour servir à des épreuves qui devoient décider de l'usage qu'on feroit de ces machines dans la Marine, & c'est une de celles qui ont été éprouvées sur l'Isis par MM. de Fleurieu & Pingré en 1768 & 1769. Cette Horloge eut un retard de 5 sec. qui augmenta peu à peu jusqu'à 15 sec. par jour dans le cours d'une année. L'Auteur a examiné d'où provenoit ce retard qui augmentoit insensiblement, & les expériences qu'il a faites depuis le retour des Commissaires, lui ont appris quelles corrections il convenoit d'y faire à raison du changement arrivé dans les huiles, &c. Il l'a perfectionnée & l'a remise à M. l'Abbé de Rochon, de l'Académie des Sciences, & Astronome de la Marine à son départ pour les Indes.

L'Horloge No 7 étoit faite sur les mêmes principes : elle est décrite dans le plus grand détail avec les dimensions de toutes ses pieces & des planches de toutes ses différentes parties. Ces Horloges avoient donné assez de justesse pour engager M. B. à poursuivre ce travail, mais pas assez pour la satisfaire. Il voyoit au-delà un terme éloigné, auquel on pouvoit cependant atteindre. Cette idée d'une plus grande perfection lui fit commencer le No. 8. Cette Horloge, qui a été éprouvée en 1768 & 1769 par MM. de Fleurieu & Pingré sur la Frégate l'Isis, & enfin en 1772 sur la Frégate la Flore par MM. de Verdun & Pingré avec un succès extraordinaire. M. B. explique les changemens qu'il fit à ses méthodes dans cette nouvelle construction : il diminua la nombre des vibrations, & augmenta le diametre du Balancier : il diminua les parties de l'axe du Balancier qui tiennent lieu de pivots : il augmenta le diametre des Rouleaux en tenant leurs pivots plus petits, & réduisit par-là les frottemens à la plus petite expression, pendant que d'un autre côté il élevoit la puissance du Balancier autant qu'il étoit possible. Il employa un chassis de compensation plus long & plus solide : il retrancha une Roue du mouvement, perfectionna la suspension, &c. Cette Horloge, dans le cours d'une année que durerent les épreuves de 1769, changea de 14 sec. par jour peu à peu, depuis 1 jusqu'à 14, & M. B. en donne les raisons : il explique les corrections qu'il y fit avant les épreuves de 1772. Le Rapport de celle-ci a été fait à l'Académie des Sciences dans l'Assemblée publique du 21 Avril 1773, & nous expliquerons ci-après le dégré de perfection que ces épreuves ont fait reconnoître dans cette Horloge N°. 8.

Le No. 9 fut commencé par M. Berthoud en 1769, & construite sur les mêmes principes que l'Horloge précédente, mais sous un plus grand volume, la tambour ayant neuf pouces de diametre en dedans. Le plus grand changement qu'il se proposa dans ce nouveau travail, consistoit à rendre le Régulateur beaucoup plus puissant, en augmentant le diametre & la masse du Balancier, en diminuant le frottement par de plus grands rouleaux avec des pivots plus petits, & en diminuant aussi l'axe du Balancier. Il fit aussi la machine de compensation plus grande pour que son effet fût plus sûr. Les expériences qu'il fit sur cette piece lui prouverent de nouveau la préférence que l'on devoit donner aux vibrations lentes ; mais il observe qu'en augmentant ainsi le volume de ces Horloges, elles deviennent d'une exécution trop pénible : on obtient une plus grande exactitude ; mais il seroit difficile d'en adopter l'usage dans la Marine, à cause du prix de ces ouvrages & des talens qu'ils exigent de la part des ouvriers ; ensorte que le No. 9 même peut être regardé comme une limite qu'il sera difficile de passer.

En rassemblant toutes les considérations que l'examen & les épreuves des Horloges précédentes avoient fait naître, l'Auteur forme la description d'un No. 10, dont l'exécution étoit presque terminée lorsqu'il a imprimé cette partie de son ouvrage : elle a un Echappement libre & à détente, comme dans le N°. 9. Le Régulateur est le même que celui de N°. 8 : la Spiral est trempé tout plié ; opération nécessaire, & dont M. B. nous donne le détail ; enfin différentes attentions ou nouvelles ou choisies dans les Horloges précédentes rendent cette description plus complette, & font comme le dernier terme de perfection auquel l'Auteur ait atteint jusqu'à présent (Mai 1773.) La clef même avec laquelle on remonte ces Horloges est nouvelle : elle est formée de deux parties mobiles l'une sur l'autre, de maniere qu'on ne sauroit avoir de résistance ni d'effet quand on tourne à contre-sens : on prévient par ce moyen des accidens semblables à celui de la Montre de M. Romilly, qui fut fracassée, & à laquelle M. le Monier assure n'avoir fait d'autre chose que de tourner la clef à contre-sens : ce fut là une des raisons qui empêcherent M. Berthoud de concourir pour le prix.

Toutes les Horloges précédentes ont été exécutées avec la plus grande précision, par le moyen des instrumens & des

outils que M. B. s'est formés : mais il avoue que si tous les Artistes, qui voudront en exécuter, étoient obligés de faire les mêmes dépenses pour exécuter ces machines, on trouveroit trop peu de gens qui voulussent s'en charger, l'usage ne pourroit s'en établir dans la Marine marchande, où l'on a cependant besoin comme dans la Marine Royale, de trouver les longitudes en mer. Il faut donc tenter de faire exécuter des Horloges sans le secours de tant d'instrumens, en établissant bien les dimensions de ces machines & les principes de leurs constructions, en faisant ensorte qu'elles soient le moins dépendante de l'extrême précision de l'exécution qui, dans certains cas, peut ne pas affecter sensiblement leur justesse. Ces considérations ont produit l'Horloge N°. 11, dans laquelle le méchanisme de compensation est plus simple & moins coûteux : elle a été remise le 15 Mars 1773 avec le N°. 8 à MM. Mersais & d'Agelet, Astronomes envoyés par le Roi avec M. Kerguelen aux Terres Australes : mais l'Auteur déclare que les expériences qu'il a faites avant le départ ne lui ont pas paru satisfaisantes, il n'a pu trouver un point propre à rendre la compensation exacte pour plusieurs termes ou degrés de température, cela vient de ce que les inflexions ou courbures de la *lame composée*, qui sert pour la compensation, n'ont pas une correspondance exacte avec les dilatations & contractions du Balancier, & avec les changemens qui surviennent dans l'élasticité du spiral par les diverses températures : mais la promptitude du départ de ces deux Astronomes ne lui a pas permis de supprimer ce Compensateur pour y substituer celui de ses autres Horloges.

M. Berthoud donne aussi la description d'une Montre à secondes que l'on peut employer pour comparer l'heure de l'Horloge marine à l'heure observée sur les *gaillards* ou sur les ponts, où l'on fait les observations du soleil, & à porter l'heure au vaisseau quand on a observé à terre. Il propose pour ces sortes de Montres un Echappement à ancre & à manivelle, qui est plus facile à exécuter que l'Echappement à cylindre, & un Compensateur formé par une régle de cuivre & une regle d'acier qui forment un arc : la dilatation inégale de ces deux piéces rend l'arc plus ou moins convexe, & écarte plus ou moins de la cheville portée par le rateau de spiral, & cet effet tend à accélérer ou à ralentir les vibrations du Balancier, selon qu'il en est besoin pour la compensation du chaud & du froid.

La troisieme Partie de cet ouvrage est destinée à traiter de la main-d'œuvre des Horloges marines, & d'abord des instrumens & outils nécessaires pour rendre l'exécution plus parfaite ; c'est ici une partie dans laquelle M. B. s'est acquis un avantage prodigieux sur tous ceux qui voudroient se livrer à de semblables travaux. Les principaux sont la machine à fendre, l'outil à arrondir les dents & les pignons, ceux qui servent à figurer & à tailler les limes & les fraises, à dresser les plans inclinés des Echappemens à cylindre, à former les engrénages, à tremper les Roues d'Echappement & les Ressorts spiraux tout pliés, à faire revenir les Roues d'Echappement, à plier les Ressorts spiraux, la Balance élastique, &c. On voit dans la composition de ces différens instrumens de M. B. l'esprit d'invention, & la plus profonde connoissance de son art : il décrit ensuite les procédés & la main-d'œuvre d'après le travail du No. 9 qu'il rédigeoit par écrit, en même tems qu'il exécutoit : il se borne aux choses dont les Artistes ont besoin, en supposant qu'ils aient déjà les connoissances qui leur sont nécessaires dans les autres parties de l'Art : connoissances préliminaires que l'Auteur a suffisamment traitées dans son *Essai sur l'Horlogerie*.

La quatrieme Partie du Traité des Horloges marines contient le détail des épreuves & des opérations par lesquelles on peut donner aux Horloges marines toute la perfection dont elles sont susceptibles : elles consistent en douze articles : faire marcher l'Horloge avec différens poids moteurs, afin de s'assurer si le spiral éprouvé est isochrone ; régler l'Horloge par les masses du Balancier ; régler la quantité du moteur & ajuster le poids sur la plaque : faire marcher librement le Balancier, afin de connoître la durée de son mouvement, & juger la puissance du Régulateur & la réduction des frottemens : éprouver l'Horloge du chaud au froid en suspendant l'effet du méchanisme de compensation : faire marcher l'Horloge hors de son tambour sur une table solide, pour connoître si l'étendue des arcs ne varie point en 24 heures : faire marcher l'Horloge en rendant la cage du Régulateur & du rouage inclinée, la cage du poids restant droite : faire marcher l'Horloge alternativement sur sa suspension & sur une table, l'éprouver par diverses températures, afin de dresser la table des corrections, calculer la force du mouvement du Régulateur, pour en conclure les avantages ou défauts de l'Horloge, en la comparant à une autre machine de même espece dont on connoisse les dimensions ; enfin s'assurer de la marche d'une bonne Horloge astronomique à pendule, à laquelle on puisse comparer l'Horloge marine pour la régler. Ceci suppose des observations astronomiques ; M. B. s'en est occupé lui-même, & il donna la description de l'instrument qu'il a fait exécuter pour lui servir de quart-de-cercle & de lunette méridienne, c'est-à-dire pour tenir lieu des instrumens ordinaires, dont on peut voir la description dans l'Astronomie de M. de la Lande, à laquelle il renvoye pour le surplus des détails des vérifications & des usages. Mais il explique avec beaucoup d'exactitude & de clarté tout ce qu'il est nécessaire de savoir pour bien régler une Horloge par le Soleil ou par les Etoiles fixes.

Cette quatrieme Partie est terminée par le résultat des épreuves faites en 1771 & 1772 sur le N°. 8. Nous avons rendu compte dans notre Journal de Janvier 1771, des épreuves de 1769, & on les trouvera dans ce Traité. Celles de 1772 ont été faites par ordre du Roi sur la Frégate la Flore, par M. Verdun de la Crene, Lieutenant des Vaisseaux du Roi, conjointement avec M. le Chevalier de Borda, de l'Académie des Sciences, aussi Lieutenant de Vaisseau, & M. Pingré, de la même Académie, aidés par M. Mersais, jeune Astronome, Eleve de M. de la Lande, qui avoit été embarqué sur la même Frégate. A Brest du 16 au 26 Octobre 1771. L'Horloge marine, N°. 8, avançoit sur le tems moyen en 24 heures de $1'' \frac{19}{100}$. A Cadix, du 22 Novembre au 10 Décembre, elle avançoit par jour de 0'', 05. Du 24 Décembre au 3 Janvier 1772, elle avançoit de 0'', 19 à Téneriffe. A Gorée, du 16 au 25 Janvier, elle avançoit de 1'', 46. Au Fort-Royal, du 17 au 26 Février, elle avançoit de 1'', 11. Au retour du Fort-Royal, du 11 Mars au 7 Avril de 0'', 50. Au Cap François, du 18 au 30, elle retardoit de 0'', 63. A Saint-Pierre, proche Terre-Neuve, du 29 Mai au 5 Juin, elle retardoit de 3'', 00. A Patrix-Fiord, elle retardoit de 4'', 72. A Copenhague, du 19 Août au 4 Septembre, elle avançoit de 0'', 51. A Brest, du 9 au 20 Octobre, elle avançoit de 0'', 04. On voit que la plus grande différence n'a été que de six secondes par jour dans toute l'année, depuis la Zone Torride jusqu'au Cercle Polaire, exactitude surprenante, qui fait l'éloge le plus complet & de l'Ouvrage & de l'Auteur.

En prenant des périodes qui sont chacune de six semaines ou environ, on trouve que l'erreur sur la longitude conclue par cette Horloge N°. 8. a été à Cadix de 3 minutes de degrés ou une lieue marine : à Téneriffe, de 6 minutes de degrés : à Gorée, 1 minute : à la Praya, 1 min. : à la Martinique, 7 min. la premiere fois, 2 min. la seconde ; au Cap François, 1 min. En Islande 8 min. A Copenhague 23 min. A Dunkerque 7 min. A Brest, au retour du vaisseau, 6 min.

Le Traité, qui contient dans le plus grand détail les moyens par lesquels M. B. est parvenu à ce degré de perfection, est évidemment digne de l'empressement des Savans, des Artistes & du Public.

Ce Traité est terminé par un Appendice qui contient plusieurs piéces justificatives relativement au travail des Horloges marines de M. Berthoud, le dépôt fait à l'Académie Royale des Sciences le 10 Novembre 1754 d'un Mémoire qui contenoit déja la construction d'une Horloge marine dont M. B. s'étoit dès-lors occupé : 2°. le Rapport de l'Académie sur l'Horloge No. I, & les Mémoires déposés en 1760 & 1761 sur la construction de cette machine : Mémoires sur la construction d'une Horloge marine, d'une Montre marine, d'une Montre astronomique & d'une Horloge marine à pendule déposés à l'Académie le 29 Août 1764 : Mémoire lû à la rentrée publique de l'Académie.

